第40卷 第6期
2023年6月

干 旱 区 研 究
ARID ZONE RESEARCH

Vol. 40 No. 6
Jun. 2023

巴丹吉林沙漠东缘天然梭梭种群结构与动态特征

毛 毛[1]， 蒙仲举[1]， 党晓宏[1]， 赵飞燕[1]， 王德慧[2]， 柴享贤[3]

（1. 内蒙古农业大学沙漠治理学院，内蒙古 呼和浩特 010018；2. 内蒙古兴安职业技术学院农牧系，内蒙古兴安盟 137400；3. 孪井滩生态移民示范区工业和科技局，内蒙古 阿拉善盟 750312）

摘 要： 为探究巴丹吉林沙漠天然梭梭林的种群结构以及动态特征，揭示梭梭建群种的更新过程和未来发展趋势，编制其静态生命表、生存曲线、数量动态变化指数及时间序列预测模型。结果表明：(1) 梭梭种群年龄结构属于"J"型，且梭梭幼苗数量较多；(2) 梭梭种群存活曲线属于Deevey-Ⅱ型，龄级越大数量越少，消失率和死亡率变化趋势一致，均在第ⅩⅦ和Ⅳ龄级出现极大值和极小值；(3) 梭梭种群结构与动态变化指数大于零($V_{pi} > V_{pi}' > 0$)，为增长型种群；(4) 时间序列预测分析结果表明，梭梭各龄级个体数量呈增加趋势。研究显示，巴丹吉林沙漠东缘天然梭梭种群为稳定增长型种群。针对该种群幼龄成活率较低的情况，建议人工干预，以提高存活率。

关键词： 梭梭；种群；数量动态；时间序列；巴丹吉林沙漠

种群是指同一时间生活在一定自然区域内，同种生物的所有个体，是进化的基本单位[1]。种群结构与动态常用来反映同一时间生活在一定自然区域内种群的变化规律，是种群个体与受外界共同影响的结果，也是种群生态学的重要研究课题[2]。种群结构与动态能够使种群生存现状数据化，评估种群发展动态，可以理解种群对周围资源环境的适应性、其生长特性以及生存潜力，有助于理解同一种群个体间，以及种间相互关系及整个群落的演替规律[3-5]。近年来，由于气候变化与人类过度干扰，干旱发生的频率也越来越高[6]，在特别干旱的区域内，已经在生态系统结构上造成了植物种群的退化甚至死亡，严重影响了生态系统的服务价值功能，因此在生态学上研究植物种群对干旱的适应以及响应已经成为热点。

而本身耐干旱植物例如梭梭(*Haloxylon ammodendron*)、杨柴（*Hedysarum laeve*）、花棒（*Hedysarum scoparium*）等，因其本身的耐旱性能，更成为重点关注研究的植物[7]。这其中，作为沙漠先锋植物的梭梭，其分布广泛，不仅耐干旱，且抗逆性强，具有极高的生态经济价值[8]。梭梭是藜科梭梭属[9]灌木，耐寒抗旱，适应风蚀沙埋，在沙漠治理中发挥着不可替代的作用[10]。位于巴丹吉林沙漠东缘的塔木素，现有天然梭梭21.5×10⁴ hm²[11]，位于沙漠与绿洲的交错区域[12]，其植物种群的退化与扩张，会影响到绿洲的扩张或者衰退，因此，明晰其种群结构和动态是探究该研究区天然梭梭林能否实现自我更新的关键，对探究该区域群落的演替具有重要意义。

目前，对于梭梭的研究集中于种群特征[13]，种群结构和空间分布格局[14-15]，以及种群数量动态[16-18]，民勤红石荒漠区的梭梭分为3种类型，但是研究其种群分布格局发现，无论是哪一种梭梭，均对荒漠干旱有较强的适应性[13]；同时对甘家湖梭梭的研究结论也相似，说明梭梭处于不同的生长阶段会根据环境做出不同的生长响应[14-15]。综上所述，目前对梭梭的研究大多集中于梭梭的空间分布[18-22]，对该研究区天然梭梭林种群结构与动态特征的研究鲜见报道。

对梭梭种群数量的动态研究可以突破目前对于梭梭整体科学管理的瓶颈，对梭梭种群生长更新的策略，后续的形成发展以及对环境的稳定性都有较为重要的意义，同时，也可以在一定程度上对巴

收稿日期： 2022-09-27； **修订日期：** 2022-11-29
基金项目： 库布齐沙漠沿黄段流动沙丘综合治理技术研究与示范项目(2021GG0073)
作者简介： 毛毛(1994-)，女，硕士研究生，主要从事沙漠治理研究. E-mail: 1137377226@qq.com
通讯作者： 蒙仲举. E-mail: mengzhongju@126.com

丹吉林沙漠东缘的绿洲与沙漠的动态变化特征加以掌握，以此对环境恶化区域提前进行干预。因此，本文以分布于巴丹吉林沙漠东缘的天然梭梭林为研究对象，对其种群动态发展趋势进行探究，进而为塔木素地区梭梭种群保护与当地生态可持续恢复提供理论依据和数据支撑。

1 研究区概况与方法

1.1 研究区概况

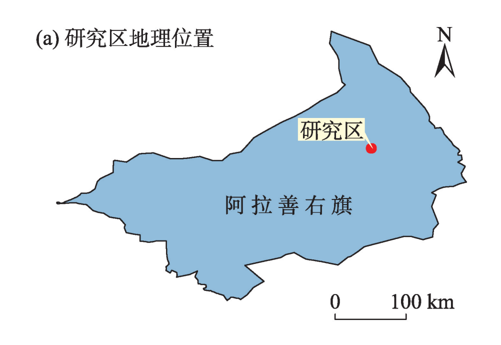
研究区位于内蒙古阿拉善盟阿拉善右旗塔木素苏木格日勒图嘎查的朝恒扎干（40°33.06′~40° 35.53′ N，103° 25.16′ 103° ~27.55′ E），海拔为1255.8~1264.3 m[11]。研究区属暖温带荒漠干旱区，为典型的干燥大陆性气候。年均降水量53.4 mm，年蒸发量＞3500 mm，年均温8.4 ℃，地下水位低于500 m，局部低于1000 m[23]，自然植被稀少，以降水为主要供给类型。主要植物有梭梭、白刺（*Nitraria tangutorum*）、红砂（*Reaumuria songarica*）、霸王（*Sarcozygium xanthoxylon*）等。

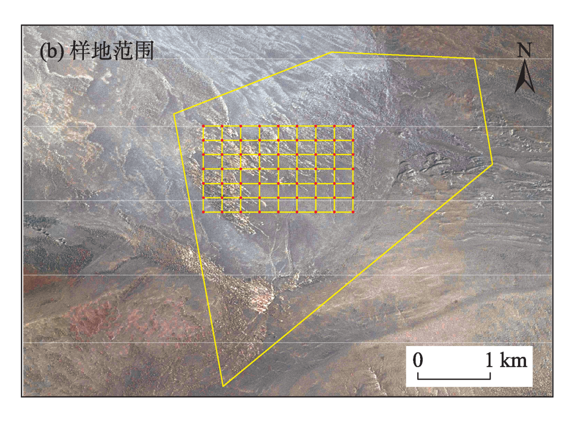
1.2 研究方法

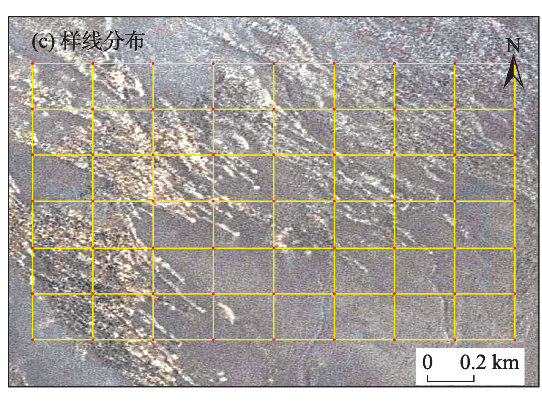
1.2.1 样地设置 2020年9月，以巴丹吉林沙漠东缘的天然梭梭林为研究区域（图1），研究区总面积923 m²，采用大样地调查法，选取梭梭分布密集的区域作为实验样地，采用手持全球定位系统记录样地4个端点处的坐标，以左下角作为起始点，以横向和纵向每隔200 m分别设置样线，形成48个200 m×200 m的相邻网格。对样线上出现的每一株梭梭进行测量，记录其基径和相对坐标。

1.2.2 梭梭种群径级结构划分 测量中发现梭梭地上茎株增长不规则，其株龄很难用年轮来表示[24]。因此，参考李艳丽等[25]的方法，采用径级代替龄级。参考蔡新斌等[16]和吕朝燕等[26]的划分标准，将其划分为17个龄级，每个龄级之间相差2。同时，将17个龄级分为4个阶段，即幼龄阶段（Ⅰ~Ⅲ）、中龄阶段（Ⅳ~Ⅵ）、成龄阶段（Ⅶ~Ⅸ）、老龄阶段（Ⅹ~ⅩⅦ）。

1.2.3 静态生命表编制 由于所研究对象为天然梭梭林，本文采用匀滑（Smooth Out）技术[27-28]处理，对梭梭林各龄级的个体数进行统计，按照静态生命表编制方法进行编制。







(d) 梭梭坐标图

1200 m
1000 m
800 m
600 m
400 m
200 m
0 m
200 m 600 m 1000 m 1400 m

图1 试验样地示意图

Fig. 1 Geographical position of the test area

1.2.4　*梭梭种群存活曲线*　本文将存活曲线分为以下3种类型[29]：Deevey-Ⅰ型、Deevey-Ⅱ型、Deevey-Ⅲ型，来描述生存规律。参考Hett等[30]的数学模型，分别检验种群存活曲线类型。

1.2.5　*种群结构与动态量化方法*　梭梭种群动态结构分析参考陈晓德[31]的研究方法：

$$V_n = \frac{S_n - S_{n+1}}{\max(S_n, S_{n+1})} \times 100\% \quad (1)$$

$$V_{pi} = \frac{\sum_{n=i}^{k-1}(S_n \times V_n)}{\sum_{n=i}^{k-1} S_n} \quad (2)$$

$$V_{pi}' = \frac{\sum_{n=i}^{k-1}(S_n \times V_n)}{k \times \min(S_1, S_2, \cdots, S_K) \times \sum_{n=i}^{k-1} S_n} \quad (3)$$

式中：V_n 为动态变化指数；V_{pi} 和 V_{pi}' 分别为忽略和考虑外部干扰情况下种群的数量动态变化指数；S_n 为种群个体数；S_{n+1}为$n+1$龄级种群个体数；k 为龄级总数量。

1.2.6　*时间序列预测模型*　本文选用一次平均推移法[32]进行模拟和预测。公式如下：

$$M_n = \frac{1}{t}\sum_{k=n-t+1}^{n} X_k \quad (4)$$

式中：n 为龄级；t 为预测时间；X_k 为 k 龄级的种群存活数；M_n 为种群存活数预测值。

1.3　数据分析

本文采用Excel 2020、Origin 2019和ArcGIS进行分析和作图。

2　结果与分析

2.1　梭梭种群年龄结构

本研究共调查梭梭样本1151株，最大基径37 cm。由图2可知，研究区该种群龄级结构呈"J"型，属增长型。Ⅰ~Ⅲ龄级个体数之和占比56.21%，表明梭梭幼龄个体数量多，具有较强的增长潜力。Ⅳ和Ⅴ龄级分别占种群个体总数的10.08%和9.73%，较前一龄级降低趋势明显，说明幼龄到中龄过渡困难；Ⅵ龄级以后梭梭个体数量逐步降低，且Ⅴ~Ⅵ龄级降低趋势明显，说明仅有少量个体能够过渡到成龄阶段，成长为成龄个体后生命力增强。老龄仅占个体总数的3.04%。

2.2　梭梭种群静态生命表

由表1可知，龄级越大梭梭数量越少。该种群

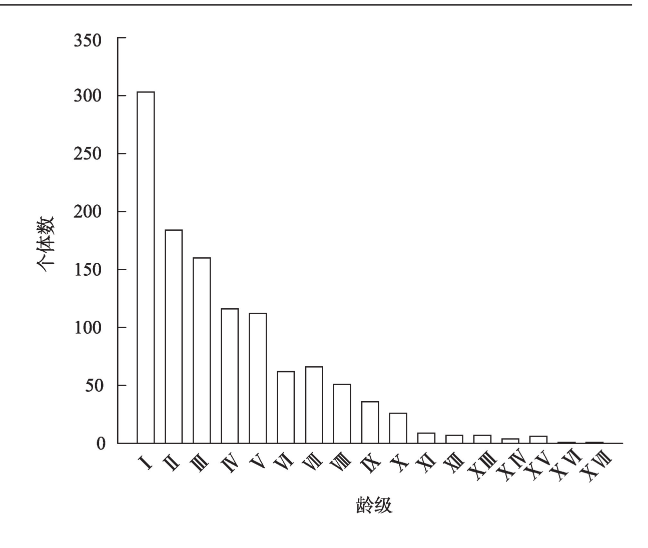


图2　梭梭种群径级结构

Fig. 2　Age structure of *Haloxylon ammodendron* population

在第Ⅳ龄级时e_x出现峰值，q_x和K_x进入低谷，说明幼龄整体发展较好。从第Ⅳ龄级开始，q_x和K_x逐渐增大，e_x逐渐减小，表明梭梭开始衰老，第Ⅷ龄级开始出现不稳定变化。从Ⅺ龄级开始e_x持续下降，到XⅥ和XⅦ龄级达最小值，反之q_x和K_x最大，说明少数存活下来的梭梭个体正处于退化阶段。

2.3　梭梭种群存活曲线、死亡曲线和消失率曲线

存活曲线能够反映种群个体在各个龄级的存活状况。梭梭种群存活曲线如图3所示，呈下降趋势，参考Deevey[29]基于数学模型[30]检验存活曲线类型，如表2所示，梭梭种群的直线函数的决定系数R^2（0.9592）大于幂函数R^2（0.6321）和指数函数R^2（0.8949），表明该存活曲线符合Deevey-Ⅱ型（对角线型），这与梭梭种群存活曲线变化幅度较小，各龄级间个体数量减少速率相差不大结果相一致，与梭梭种群年龄结构和生命表的分析结果接近。

梭梭种群的消失率和死亡率曲线变化趋势一致（图4），二者均呈现"降–增–降–增"的动态变化趋势。

2.4　梭梭种群动态指数

如表3所示，种群$V_{Ⅰ}$~$V_{Ⅴ}$、$V_{Ⅶ}$~$V_{Ⅺ}$、$V_{XⅢ}$、$V_{XⅤ}$、$V_{XⅦ}$大于零，$V_{Ⅻ}$和$V_{XⅥ}$等于零，$V_{Ⅵ}$和$V_{XⅣ}$小于零，表明种群动态变化为"增长–衰退–增长–稳定–增长–衰退–增长–稳定–增长"。忽略外部干扰时，梭梭种群动态指数$V_{pi} > V_{pi}' > 0$，表明梭梭种群动态变化为增长型；考虑外部干扰时，V_{pi}'趋近于0，说明梭梭种群增长趋势不明显且动态变化不稳定。

表1　梭梭种群静态生命表

Tab. 1　Static life table of *Haloxylon ammodendron* population

龄级	径级(*DHB*)	A_x	a_x	l_x	$\ln l_x$	d_x	q_x	L_x	T_x	e_x	K_x	S_x
Ⅰ	2 cm≥*DHB*	303	303	1000	6.91	393	0.39	804	3292	3.29	0.50	0.61
Ⅱ	4 cm≥*DHB*>2 cm	184	184	607	6.41	79	0.13	568	2488	4.10	0.14	0.87
Ⅲ	6 cm≥*DHB*>4 cm	160	160	528	6.27	201	0.38	427	1921	3.64	0.48	0.62
Ⅳ	8 cm≥*DHB*>6 cm	116	99	327	5.79	30	0.09	312	1493	4.57	0.10	0.91
Ⅴ	10 cm≥*DHB*>8 cm	112	90	297	5.69	30	0.10	282	1182	3.98	0.11	0.90
Ⅵ	12 cm≥*DHB*>10 cm	62	81	267	5.59	30	0.11	252	899	3.36	0.12	0.89
Ⅶ	14 cm≥*DHB*>12 cm	66	72	238	5.47	30	0.13	223	647	2.72	0.13	0.88
Ⅷ	16 cm≥*DHB*>14 cm	51	63	208	5.34	89	0.43	163	424	2.04	0.56	0.57
Ⅸ	18 cm≥*DHB*>16 cm	36	36	119	4.78	33	0.28	102	261	2.19	0.33	0.72
Ⅹ	20 cm≥*DHB*>18 cm	26	26	86	4.45	56	0.65	58	158	1.85	1.06	0.35
Ⅺ	22 cm≥*DHB*>20 cm	9	9	30	3.39	7	0.22	26	101	3.39	0.25	0.78
Ⅻ	24 cm≥*DHB*>22 cm	7	7	23	3.14	3	0.14	21	74	3.21	0.15	0.86
ⅩⅢ	26 cm≥*DHB*>24 cm	7	6	20	2.99	3	0.17	18	53	2.67	0.18	0.83
ⅩⅣ	28 cm≥*DHB*>26 cm	4	5	17	2.80	3	0.20	15	35	2.10	0.22	0.80
ⅩⅤ	30 cm≥*DHB*>28 cm	6	4	13	2.58	3	0.25	12	20	1.50	0.29	0.75
ⅩⅥ	32 cm≥*DHB*>30 cm	1	3	10	2.29	7	0.67	7	8	0.83	1.10	0.33
ⅩⅦ	*DHB*>32 cm	1	1	3	1.19	–	–	2	2	0.5	–	

注：A_x为x龄级内存活数；a_x为匀滑后存活数；l_x为标准化存活数；d_x为龄级间隔期内标准化死亡数；q_x为死亡率；L_x为x龄级到x+1龄级内存活个体数；T_x为从x龄级到超过x龄级的存活个体总数；e_x为生命期望值；K_x为致死率或消失率(损失度)；S_x为种群存活率。

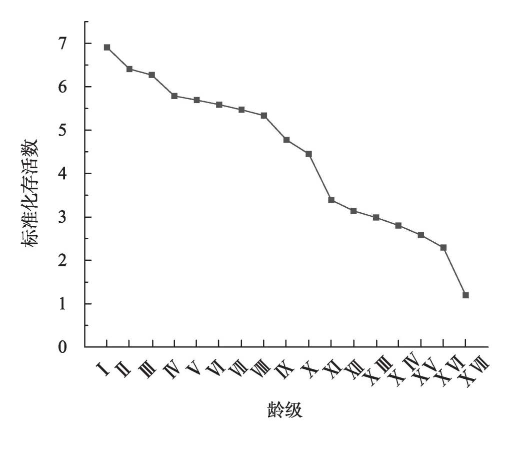


图3　梭梭种群存活曲线

Fig. 3　Survial curves of *Haloxylon ammodendron* population

表2　梭梭种群存活曲线的检验模型

Tab. 2　Statistical test model for survival curves of *Haloxylon ammodendron* population

模型类型	方程	R^2	曲线类型
指数模型	$a_x=a_0e^{-bx}$, $a_x=8.8585e^{-0.087x}$	0.8949	Deevey-Ⅱ型
直线模型	$a_x=a_0+bx$, $y=-0.3342x+7.1017$	0.9592	
幂函数模型	$a_x=a_0x^{-b}$, $a_x=10.254x^{-0.473}$	0.6321	

注：a_x表示匀滑后存活数；a_0表示初始个体数；b表示死亡率。

2.5　梭梭种群时间序列预测

由表4可知，梭梭种群各龄级从Ⅱ~Ⅹ龄级，个体数量均呈现增加趋势。

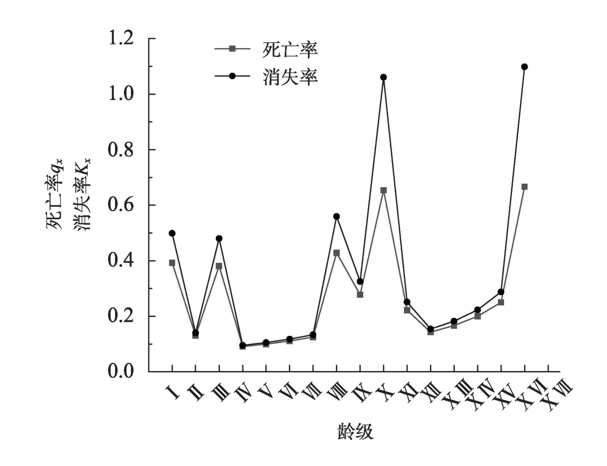


图4　梭梭种群死亡率q_x和消失率K_x曲线

Fig. 4　Mortality rate and vanishing rate curves of *Haloxylon ammodendron* population

3　讨 论

种群结构与动态特征不仅是种群个体发展的表现，同时也受外部因素的综合作用[33]。巴丹吉林沙漠中恶劣的自然条件、稀缺的水资源、动物取食以及人为因素等的强烈干扰，均是导致梭梭种群变化的重要因素。

本研究发现，巴丹吉林沙漠东缘天然梭梭种群的龄级结构属于增长型，幼苗个体数量充足，这与

表3　梭梭种群动态变化指数

Tab. 3　Dynamic indices of *Haloxylon ammodendron* population

	龄级	指数值	龄级	指数值
V_n	$V_{Ⅰ}$	39.27	$V_{Ⅹ}$	65.38
	$V_{Ⅱ}$	13.04	$V_{Ⅺ}$	22.22
	$V_{Ⅲ}$	27.5	$V_{Ⅻ}$	0
	$V_{Ⅳ}$	3.45	$V_{ⅩⅢ}$	42.86
	$V_{Ⅴ}$	44.64	$V_{ⅩⅣ}$	-33.33
	$V_{Ⅵ}$	-6.06	$V_{ⅩⅤ}$	83.33
	$V_{Ⅶ}$	22.73	$V_{ⅩⅥ}$	0
	$V_{Ⅷ}$	29.41	$V_{ⅩⅦ}$	100
	$V_{Ⅸ}$	27.78		
V_{pi}		0.26		
V'_{pi}		0.02		

注:V_n表示从n到n+1的数量动态变化指数;V_{pi}表示无外部干扰时的数量动态变化指数;V'_{pi}表示有外部干扰时的数量动态变化指数。

表4　梭梭种群结构与动态时间序列预测

Tab. 4　The prediction number of *Haloxylon ammodendron* population by using time sequence analysis

龄级	初始个体数	M_n								
		M_2	M_3	M_4	M_5	M_6	M_7	M_8	M_9	M_{10}
Ⅰ	303									
Ⅱ	184	244								
Ⅲ	160	172	216							
Ⅳ	116	138	153	191						
Ⅴ	112	114	129	143	175					
Ⅵ	62	87	97	113	127	156				
Ⅶ	66	64	80	89	103	117	143			
Ⅷ	51	59	60	73	81	95	107	132		
Ⅸ	36	44	51	54	65	74	86	98	121	
Ⅹ	26	31	38	45	48	59	67	79	90	112
Ⅺ	9	18	24	31	38	42	52	60	71	82
Ⅻ	7	8	14	20	26	33	37	46	54	65
ⅩⅢ	7	7	8	12	17	23	29	33	42	49
ⅩⅣ	4	6	6	7	11	15	20	26	30	38
ⅩⅤ	6	5	6	6	7	10	14	18	24	27
ⅩⅥ	1	4	4	5	5	6	9	12	16	21
ⅩⅦ	1	1	3	3	4	4	5	8	11	15

孙利鹏等[10]和宋于洋[34]的研究结果一致,说明梭梭种群天然更新较好且具有较强的增长潜力,随着个体增大,对资源的需求增大,当不能满足其生长时,加剧竞争,自疏作用明显。梭梭种群静态生命表也表现出与年龄结构一致的变化。这可能是由于梭梭对资源和空间持续增加的需求所致,当超过环境承载力后引发自疏和他疏作用[35]。初期,幼苗个体对资源需求较小,呈现出不明显的竞争,随着梭梭个体对资源的需求加大,梭梭种内竞争也在加剧[36]。中期,梭梭个体已有很强的生命力,受环境制约的可能性较小,少量的死亡率和消失率可能是受到外部干扰,骆驼取食或者人为采挖野生肉苁蓉所致[26]。后期,少数存活下来的梭梭开始生理衰老。梭梭种群存活曲线与李进军等[19]和杨瑞红[18]的研究结果一致,都表明种群龄级越大数量越少。梭梭种群的消失率和死亡率曲线均呈现"降-增-降增"的变化趋势,这是由于梭梭成年后对环境的适应能力增强,在某一阶段实行封育措施后,放牧对梭梭取食的影响减少,因此老龄梭梭发展较好,该阶段后梭梭接近其生理衰老年龄,死亡率缓慢增加[37]。这与本研究中梭梭种群静态生命表和梭梭存活曲线的分析结果相一致。梭梭种群动态变化指数 $V_{pi} > V'_{pi} > 0$,也表现为增长型[31],说明该研究区内梭梭林天然更新良好,未发生大面积毁林现象。此外,时间序列预测分析结果也表明,梭梭种群各龄级在未来2、3、4、5、6、7、8、9、10个龄级时间后个体数量持续增加。由此可见,该种群稳定,未来一段时间内,不考虑外界破坏其生存环境的前提下,梭梭种群天然更新稳定并能够继续保持增长[33]。

梭梭种群的发展趋势是基于其生态环境不发生变化得出的,一旦种群遭受外部干扰,其发展趋势难以预测,造成的种群破坏程度也难以想象。塔木素天然梭梭林因地处偏远,人烟稀少,且较早的实行封育禁牧措施,未遭受大面积人为破坏,但是在极端干旱的气候条件和少量外部因素(本研究指骆驼取食和人工采挖野生肉苁蓉)影响下,要使种群长期稳定发展必须制定相关保护对策。

4　结　论

通过对巴丹吉林沙漠天然梭梭林的种群结构以及动态特征分析,得出以下结论:

(1) 梭梭种群年龄结构属于"J"型,梭梭幼苗数量较多但成活率低,针对这一现象建议采取人工疏苗,并在极端干旱的自然环境条件下适当补充水分,水分作为植物生长的限制性因子直接决定该研究区梭梭的成活。

(2) 梭梭种群存活曲线属于Deevey-Ⅱ型,龄级越大数量越少,各龄级死亡率相差不大,结合梭梭

种群动态变化指数可知,该种群为稳定增长型种群,因此,建立天然梭梭林自然保护区,最大程度减少外部干扰,使得种群能够实现自我更新。

(3) 时间序列预测分析结果也表明,该种群个体数量随时间推移而增加,进一步说明在该研究区设立自然保护区是必要的。

参考文献(References):

[1] 赵阳, 刘锦乾, 陈学龙, 等. 洮河上游紫果云杉种群结构特征[J]. 植物生态学报, 2020, 44(1): 266−276. [Zhao Yang, Liu Jinqian, Chen Xuelong, et al. Population structure characteristics of *Picea purpurea* in the upstream of Taohe River[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2020, 44(1): 266−276.]

[2] 崔长美, 王孝安, 郭华, 等. 子午岭林区天然油松林的种群结构与动态[J]. 干旱区研究, 2011, 28(1): 111−117. [Cui Changmei, Wang Xiao'an, Guo Hua, et al. Structure and dynamic change of natural *Pinus tabulaeformis* populations in the Ziwuling forested area[J]. Arid Zone Research, 2011, 28(1): 111−117.]

[3] 石亚飞, 张志山, 黄磊, 等. 古尔班通古特沙漠半固定沙丘植物群落物种组成和种群结构[J]. 应用生态学报, 2016, 27(4): 1024−1030. [Shi Yafei, Zhang Zhishan, Huang Lei, et al. Species composition and population structure of plant communities on semi-fixed dunes of the Gurbantunggut Desert, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2016, 27(4): 1024−1030.]

[4] 朱贵珍, 丁彦芬, 卓启苗, 等. 南京紫金山红柴枝种群结构及动态特征[J]. 东北林业大学学报, 2020, 48(1): 29−33. [Zhu Guizhen, Ding Yanfen, Zhuo Qimiao, et al. Structure and dynamic characteristics of *Meliosma oldhamii* population in Zijin Mountain, Nanjing[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2020, 48 (1): 29−33.]

[5] 谭一波, 詹潮安, 肖泽鑫, 等. 广东南澳岛中华楠种群结构及动态特征[J]. 生态学杂志, 2010, 29(10): 1901−1906. [Tan Yibo, Zhan Chao'an, Xiao Zexin, et al. Population structure and dynamic characteristics of *Machilus chinensis* in Nan'ao Island, Guangdong Province[J]. Chinese Journal of Ecology, 2010, 29(10): 1901−1906.]

[6] 秦洁, 司建华, 贾冰, 等. 巴丹吉林沙漠植被群落特征与土壤水分关系研究[J]. 干旱区研究, 2021, 38(1): 207−222. [Qin Jie, Si Jianhua, Jia Bing, et al. Study on the relationship between vegetation community characteristics and soil moisture in Badain Jaran Desert[J]. Arid Zone Research, 2021, 38(1): 207−222.]

[7] 秦爱丽, 马凡强, 许格希, 等. 珍稀濒危树种峨眉含笑种群结构与动态特征[J]. 生态学报, 2020, 40(13): 4445−4454. [Qin Aili, Ma Fanqiang, Xu Gexi, et al. Population structure and dynamic characteristics of a rare and endangered tree species *Michelia wilsonii* Finet et Gagn[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(13): 4445−4454.]

[8] 季树新, 王理想, 白雪莲, 等. 不同林龄人工梭梭林对降雨的滞后响应[J]. 干旱区研究, 2020, 37(2): 349−356. [Ji Shuxin, Wang Lixiang, Bai Xuelian, et al. Lag response of artificial *Haloxylon ammodendron* forests at different ages to rainfall[J]. Arid Zone Research, 2020, 37(2): 349−356.]

[9] 陈虞超, 李苗, 吴明朝, 等. 梭梭属两种植物的根结构和成分[J]. 植物生理学报, 2013, 49(11): 1273−1276. [Chen Yuchao, Li Miao, Wu Mingchao, et al. Structure and composition of roots in two species of *Haloxylon* Bunge[J]. Plant Physiology Journal, 2013, 49(11): 1273−1276.]

[10] 孙利鹏, 王辉, 王继和, 等. 乌兰布和沙漠天然梭梭种群径级结构及种群动态分析[J]. 甘肃农业大学学报, 2012, 47(2): 110−114. [Sun Lipeng, Wang Hui, Wang Jihe, et al. Diameter class structure and population dynamic analysis of natural *Haloxylon ammodendron* in Ulan Buh Desert[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2012, 47(2): 110−114.]

[11] 王猛, 汪季, 蒙仲举, 等. 巴丹吉林沙漠东缘天然梭梭种群空间分布异质性[J]. 生态学报, 2016, 36(13): 4055−4063. [Wang Meng, Wang Ji, Meng Zhongju, et al. Spatial heterogeneity of natural *Haloxylon ammodendron* populations at Ta-Mu-Su, Badain Jaran Desert, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36 (13): 4055−4063.]

[12] 刘鑫, 焦健, 王婷, 等. 巴丹吉林沙漠南缘沙地芦苇种群生态特征[J]. 干旱区研究, 2022, 39(1): 220−229. [Liu Xin, Jiao Jian, Wang Ting, et al. Population ecological features of *Phragmites australis* in sandy habitats on the southern edge of Badain Jaran Desert[J]. Arid Zone Research, 2022, 39(1): 220−229.]

[13] 张锦春, 王继和, 安富博, 等. 民勤天然梭梭种群特征初步研究[J]. 中国沙漠, 2009, 29(6): 1124−1128. [Zhang Jinchun, Wang Jihe, An Fubo, et al. Popolation characteristics of natural *Haloxylon ammodendron* in Minqin, Gansu of China[J]. Journal of Desert Research, 2009, 29(6): 1124−1128.]

[14] 闫涵, 孙芳芳, 马松梅, 等. 梭梭和白梭梭的种群结构与空间分布格局[J]. 西南农业学报, 2021, 34(8): 1781−1787. [Yan Han, Sun Fangfang, Ma Songmei, et al. Population structure and spatial distribution pattern of *Haloxylon ammodendron* and *H. persicum* [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2021, 34(8): 1781−1787.]

[15] 贾喆亭, 杨九艳, 孙艳霞, 等. 阿拉善高原珍珠猪毛菜种群空间分布格局[J]. 中国沙漠, 2021, 41(1): 119−128. [Jia Zheting, Yang Jiuyan, Sun Yanxia, et al. Spatial distribution pattern of *Salsola passerina* population in Alashan plateau[J]. Journal of Desert Research, 2021, 41(1): 119−128.]

[16] 蔡新斌, 吴俊侠. 甘家湖自然保护区白梭梭种群特征与动态分析[J]. 干旱区资源与环境, 2016, 30(7): 90−94. [Cai Xinbin, Wu Junxia. Characteristics and dynamics analysis of *Haloxylon persicum* populations in the Nature Reserve of Gan Jia Hu Lake [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2016, 30(7): 90−94.]

[17] 岳跃蒙, 李晨华, 徐柱, 等. 古尔班通古特沙漠降雨过程中梭梭

与白梭梭冠层养分的变化特征[J]. 干旱区研究, 2020, 37(5): 1293-1300. [Yue Yuemeng, Li Chenhua, Xu Zhu, et al. Variation characteristics of canopy nutrients during the rainfall process of *Haloxylon ammodendron* and *Haloxylon persicum* in the Gurbantunggut Desert[J]. Arid Zone Research, 2020, 37(5): 1293-1300.]

[18] 杨瑞红. 古尔班通古特沙漠梭梭种群及群落动态特征和稳定性评价[J]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2017: 46-48. [Yang Ruihong. The Research of Stability and Population & Community Dynamics of Haloxylon ammodendron in Gurbantunggut Desert[J]. Urumqi: Xinjiang Forestry University, 2017: 46-48.]

[19] 李进军, 薛斌瑞, 柴宗政. 民勤县荒漠—绿洲交错带梭梭种群的数量动态及分布格局[J]. 东北林业大学学报, 2013, 41(8): 27-32. [Li Jinjun, Xue Binrui, Chai Zongzheng. Quantity dynamics and distribution pattern for *Haloxylon ammodendron* population of the desert-oasis ecotone in Minqin County of Gansu Province, China[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2013, 41(8): 27-32.]

[20] 刘红梅, 吕世杰, 刘青泉, 等. 巴丹吉林沙漠东缘主要植物种群空间分布关系[J]. 生态学杂志, 2021, 40(4): 959-967. [Liu Hongmei, Lv Shijie, Liu Qingquan, et al. Spatial distribution relations of main plant populations in eastern Badain Jaran Desert[J]. Chinese Journal of Ecology, 2021, 40(4): 959-967.]

[21] 刘红梅, 吕世杰, 任倩楠, 等. 巴丹吉林沙漠梭梭林下沙质土壤的粒径变化和空间分布特征研究[J]. 草地学报, 2021, 29(6): 1249- 1256. [Liu Hongmei, Lv Shijie, Ren Qiannan, et al. The study on particle sizes and spatial distribution of sandy soil under *Haloxylon ammodendron* forests in Badain Jaran Desert[J]. Acta Agrestia Sinica, 2021, 29(6): 1249-1256.]

[22] 侯娜, 吕世杰, 苏金梅, 等. 天然梭梭林主要物种基本数量特征及其种间关联研究[J]. 草原与草业, 2018, 30(2): 56-61. [Hou Na, Lv Shijie, Su Jinmei, et al. The basic quantitative characteristics and inter-species association research of main species in natural *Haloxylon ammodendron* shrub[J]. Grassland and Prataculture, 2018, 30(2): 56-61.]

[23] 王旭升, 胡晓农, 金晓媚, 等. 巴丹吉林沙漠地下水与湖泊的相互作用[J]. 地学前缘, 2014, 21(4): 91-99. [Wang Xusheng, Hu Xiaonong, Jin Xiaomei, et al. Interactions between groundwater and lakes in the Badain Jaran Desert[J]. Earth Science Frontiers, 2014, 21(4): 91-99.]

[24] 王炜, 梁存柱. 梭梭年轮测定方法及生长动态的研究[J]. 干旱区资源与环境, 2001, 15(1): 67- 74. [Wang Wei, Liang Cunzhu. Study on the measuring method of growth gings of *Haloxylon ammodendron* and its growing dynamics[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2001, 15(1): 67-74.]

[25] 李艳丽, 杨华, 亢新刚, 等. 长白山云冷杉种群结构和动态分析[J]. 北京林业大学学报, 2014, 36(3): 18- 25. [Li Yanli, Yang Hua, Kang Xingang, et al. Population structure and dynamics of *Abies nephrolepis* and *Picea koraiensis* in the Changbai Mountains of northeastern China[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2014, 36 (3): 18-25.]

[26] 吕朝燕, 张希明, 刘国军, 等. 准格尔盆地西北缘梭梭种群结构和空间格局特征[J]. 中国沙漠, 2012, 32(2): 380-387. [Lv Chaoyan, Zhang Ximing, Liu Guojun, et al. Population structure and spatial pattern of *Haloxylon ammodendron* population along northwestern edge of Junggar Basin[J]. Journal of Desert Research, 2012, 32(2): 380-387.]

[27] 孙儒泳, 李博. 普通生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1993: 59-66. [Sun Ruyong, Li Bo. General Ecology[M]. Beijing: Higher Education Press, 1993: 59-66.]

[28] 江洪. 云杉种群生态学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1992: 7-13. [Jiang Hong. Ecology of Spruce Population[M]. Beijing: China Forestry Press, 1992: 7-13.]

[29] Deevey E S Jr. Life tables for natural populations of animals[J]. The Quarterly Review of Biology, 1947, 22(4): 283-314.

[30] Hett J M, Loucks O L. Age structure models of balsam fir and eastern hemlock[J]. The Journal of Ecology, 1976, 64(3): 1029.

[31] 陈晓德. 植物种群与群落结构动态量化分析方法研究[J]. 生态学报, 1998, 18(2): 214-217. [Chen Xiaode. A study on the method of quantitative analysis for plant population and community structural dynamics[J]. Acta Ecologica Sinica, 1998, 18(2): 214-217.]

[32] 肖宜安, 何平, 李晓红, 等. 濒危植物长柄双花木自然种群数量动态[J]. 植物生态学报, 2004, 28(2): 252-257. [Xiao Yi'an, He Ping, Li Xiaohong, et al. Study on numeric dynamics of natural populations of the endangered species *Disanthus cercidifolius* var. *longipes*[J]. Acta Phytoecologica Sinica, 2004, 28(2): 252-257.]

[33] Svensson J S, Jeglum J K. Structure and dynamics of an undisturbed old-growth Norway spruce forest on the rising Bothnian coastline[J]. Forest Ecology and Management, 2001, 151(1/3): 67-79.

[34] 宋于洋. 古尔班通古特沙漠梭梭种群动态与持续发育[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2010. [Song Yuyang. *Haloxylon ammodendron* Population Dynamics and Sustainable Development in Gurbantunggut Desert[D]. Yangling: Northwest University of Agriculture and Forestry Science and Technology, 2010.]

[35] 韩文轩, 方精云. 植物种群的自然稀疏规律-3/2还是-4/3?[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2008, 44(4): 661-668. [Han Wenxuan, Fang Jingyun. Self-thinning law in plant populations: -3P2 vs -4P3[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2008, 44 (4): 661-668.]

[36] 常兆丰, 韩福贵, 仲生年, 等. 民勤沙区人工梭梭林自然稀疏过程研究[J]. 西北植物学报, 2008, 28(1): 147-154. [Chang Zhaofeng, Han Fugui, Zhong Shengnian, et al. Self thinning process of *Haloxylon ammodendron* planted forest in desert area of Minqin [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2008, 28(1): 147-154.]

[37] 赖江山, 张谧, 谢宗强. 三峡库区常绿阔叶林优势种群的结构和格局动态[J]. 生态学报, 2006, 26(4): 1073-1079. [Lai Jiangshan,

Zhang Mi, Xie Zongqiang. Structure and distribution pattern of dominant populations in the evergreen broad-leaved forest in Three Gorges Reservoir Area[J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(4): 1073–1079.]

Population dynamics of natural *Haloxylon ammodendron* in the eastern margin of Badain Jaran Desert

MAO Mao[1], MENG Zhongju[1], DANG Xiaohong[1], ZHAO Feiyan[1], WANG Dehui[2], CHAI Xiangxian[3]

(1. College of Desert Governance, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, Inner Mongolia, China; 2. Department of Agriculture and Animal Husbandry, Inner Mongolia Xing'an Vocational and Technical College, Xing'an League 137400, Inner Mongolia, China; 3. Industry and Technology Bureau of Luanjingtan Ecological Migration Demonstration Zone, Alxa League 750312, Inner Mongolia, China)

Abstract: The purpose of this study was to analyze the population structure and dynamic characteristics of the natural *Haloxylon ammodendron* forest in Badain Jaran Desert, revealing the renewal process and future development trend of this *Haloxylon* species. This work also involved preparation of a static life table, survival rate curves, mortality and disappearing rate curves, population dynamic change index, and a time-series forecasting model. The results showed that: (1) The age structure of this species belongs to the “J” type, with abundant seedlings. (2) The survival curve belongs to the Deevey-II type, and the disappearance and mortality rates have similar trends, both with maximum and minimum values at ages X VII, and IV. (3) The number dynamic change index is greater than 0, indicating that this species has a growing population. (4) The results of time-series prediction analysis showed that the number of individuals will increase. Studies have shown that the natural *H. ammodendron* population is a stable growing population. In view of the low survival rate of young in this population, it is recommended to manually intervene in the growth of *H. ammodendron* seedlings to improve their survival rate.

Keywords: *Haloxylon ammodendron*; population; population dynamics; time sequence; Badain Jaran Desert